**Journal of Water and Soil**
https://jsw.um.ac.ir



**Research Article**
**Vol. 36, No. 2, May-June 2022, p. 225-236**

# Assessment of Triple Super Phosphate Fertilizer and Irrigation Salinity Effects on Soil Cadmium Mobility and Absorption

**A. Moslehi[1*], M. Feizian[2]**

| | |
|---|---|
| Received: 16-08-2021<br>Revised: 29-08-2021<br>Accepted: 16-04-2022<br>Available Online: 21-07-2022 | **How to cite this article:**<br>Moslehi A., and Feizian M. 2022. Assessment of Triple Super Phosphate Fertilizer and Irrigation Salinity Effects on Soil Cadmium Mobility and Absorption. Journal of Water and Soil 36(2): 225-236. (In Persian with English abstract)<br>**DOI:** 10.22067/JSW.2022.71557.1071 |

## Introduction

Cadmium (Cd) mobility in soil is affected by various factors and its absorption from soil by tobacco is higher than other crops. Application of phosphate fertilizers in agricultural lands is an essential step to increase the yield of tobacco plants. Since most phosphate fertilizers contain small amounts of Cd, the uptake of Cd by tobacco plant in its cultivated areas due to the application of triple superphosphate fertilizer (TSP) is not unexpected. In many tobacco growing areas, the water or soil used is between low and medium salinity in terms of salinity, which can also influence the solubility of cadmium and, consequently, its uptake by tobacco plant. Cadmium can be absorbed through food, drink and respiration. This metal not only is absorbed by the digestive organs, but also is absorbed by the respiratory organs through airborne particles and cigarette smoke. Tobacco is resistant to high concentrations of Cd in soil and can absorb it from Cd-contaminated soil. The aim of this study is to investigate the effect of P fertilizer and salinity on Cd mobility in soil and tobacco plant.

## Materials and Methods

This experiment was conducted with the aim of investigating the interaction of three factors of irrigation salinity (0, 20 and 40 mM NaCl), triple tuper phosphate fertilizer (TSP) (0 and 1.5 g $kg^{-1}$ soil) and soil Cd contamination level (0 and 12 mg $kg^{-1}$ soil) in a completely randomized design with four replications on shoot Cd concentration, smoke Cd concentration, extraction percentage of DTPA, tobacco ash Cd concentration, Cd mobility factor and Cd fractions in soil. To homogenize the samples, they were thoroughly mixed together and the resulting composite samples were passed through a 2 mm sieve to incubate the samples and then implant. Cadmium contamination levels (0 and 12 mg $kg^{-1}$) were prepared from $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ source. Prior to planting, the relevant levels of contamination were added by spraying on the entire soil surface and mixed thoroughly. Soil samples were transferred to plastic storage containers and incubated for four months in a controlled greenhouse within a temperature range of 25-30 °C and 70% water holding capacity of the soil measured by the weighing method. Cultivation was carried out under controlled conditions in a greenhouse environment located in Bardaskan city. Two 60-day-old tobacco seedlings (*Nicotiana tabacum* L.) of Cocker 347 cultivar, which were previously seeded in non-contaminated cadmium soil and grown with non-saline water, were transferred to each pot and planted. The cultivar used in this experiment was a greenhouse tobacco cultivar used in the cigarette industry. Immediately after transferring the seedlings to pots, irrigation was performed with saline-free water (distilled water), salinity of 20 or 40 mM NaCl salt for 75 days according to the required treatment. Up to the fourth week, the amount of 400 ml per pot in each irrigation cycle, and after that until the end of the experiment, the amount of 800 ml per pot in each irrigation cycle was applied.

1 and 2- Ph.D. of Soil Science and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: moslehi2012@gmail.com)

## Results and Discussion

The results showed that Cd mobility factor in Cd-contaminated soil increased on average by 25.6%, 32.4% and 36.2% compared to non-contaminated soil at 0, 20 and 40 mM salinity, respectively. Application of phosphate fertilizer significantly reduced the mobility factor of cadmium in non-cadmium-contaminated soils. In Cd-contaminated soil, the extraction percentage of DTPA increased 26.5% and 56.4% with increasing irrigation salinity levels from 0-20 and 0-40, respectively. In non-Cd contaminated soil, TSP application reduced extraction percentage of DTPA 20.2%, 28.4% and 24.6% in 0, 20 and 40 irrigation salinity levels, respectively in compared to non-TSP application. With increasing the levels of soil Cd contamination, the percentage Cd concentration in oxide fraction of soil decreased and the percentage of Cd concentration in carbonate, organic and residual fractions increased. Application of TSP increased the concentration of residual Cd fraction in the soil.

## Conclusion

With increasing the level of Cd contamination in soil, the percentage of Cd in carbonate and organic fractions increased compared to non-Cd contaminated soil. The results showed that TSP application in Cd contaminated soil in salinitylevels of 0, 20, and 40 mM increased Cd concentration of tobacco ash by 1.47%, 15.89% and 29.80% and increased Cd concentration of tobacco smoke by 23.20%, 23.30% and 18%, respectively. Salinity factor and phosphate fertilizer showed the reverse effect on soluble + exchangeable cadmium and DTPA available Cd in soil, so with increasing salinity, these concentrations increased and with increasing triple superphosphate fertilizer decreased.

**Keywords:** Cadmium mobility index, Cd concentration of tobacco cigarette smoke, Different cadmium fractions in soil, Extraction percentage of DTPA

**نشریه آب و خاک**
https://jsw.um.ac.ir

**مقاله پژوهشی**
جلد ۳۶، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱، ص ۲۳۶-۲۲۵

# بررسی اثر کود سوپرفسفات تریپل و شوری آب آبیاری بر تحرک و جذب کادمیم خاک

**امیر مصلحی[1*] – محمد فیضیان[2]**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

## چکیده

تحرک کادمیم در خاک تحت تاثیر عوامل مختلفی است و جذب آن توسط توتون بیشتر از سایر گیاهان زراعی است. این آزمایش با هدف بررسی برهمکنش سه عامل شوری آب آبیاری (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار NaCl)، کود سوپر فسفات تریپل (صفر و ۱/۵ گرم بر کیلوگرم خاک) و آلودگی کادمیم خاک ( صفر و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار بر غلظت کادمیم بخش هوایی، غلظت کادمیم دود توتون، درصد استخراج DTPA، غلظت کادمیم خاکستر توتون، فاکتور تحرک کادمیم و درصد توزیع شکل‌های شیمیایی کادمیم خاک، انجام شد. نتایج نشان داد که فاکتور تحرک کادمیم در خاک آلوده شده به کادمیم نسبت به خاک غیر آلوده در شوری صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار به طور میانگین و به‌ترتیب ۲۵/۶، ۳۲/۴ و ۳۶/۲ درصد افزایش نشان داد. کاربرد کود فسفاته، سبب کاهش معنی‌دار فاکتور تحرک کادمیم در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم شد. در خاک‌های آلوده به کادمیم، درصد استخراج DTPA با افزایش سطوح شوری آب آبیاری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار به‌ترتیب به مقدار ۲۶/۵ و ۵۶/۴ درصد افزایش نشان داد. در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم، کاربرد کود سوپر فسفات تریپل در شوری‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار آب آبیاری به‌ترتیب سبب کاهش درصد استخراج DTPA به میزان ۲۰/۲، ۲۸/۴ و ۲۴/۶ درصد نسبت به عدم کاربرد کود شد. با افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، درصد غلظت کادمیم بخش‌های اکسیدی خاک کاهش و درصد غلظت کادمیم بخش کربناتی، آلی و باقی‌مانده افزایش نشان داد. کاربرد کود فسفاته سبب افزایش غلظت کادمیم باقی مانده خاک شد. با افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، درصد کادمیم بخش کربناتی و ماده آلی خاک نسبت به خاک غیر آلوده به کادمیم افزایش معنی‌داری نشان داد. نتایج هم چنین نشان داد که کاربرد کود سوپرفسفات تریپل در خاک آلوده به کادمیم و در شوری صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار به‌ترتیب سبب افزایش غلظت کادمیم خاکستر توتون به مقدار ۱/۴۷، ۱۵/۸۹ و ۲۹/۸۰ درصد و غلظت کادمیم دود توتون به میزان ۲۳/۲، ۲۳/۳ و ۱۸ درصد گردید. عامل شوری و کود فسفاته روند معکوسی بر کادمیم بخش محلول+تبادلی و کادمیم فراهم با DTPA خاک داشتند به طوری‌که با افزایش شوری، این غلظت‌ها افزایش و با افزایش کود سوپر فسفات تریپل، کاهش نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** درصد استخراج DTPA، شکل‌های مختلف کادمیم خاک، فاکتور تحرک کادمیم، کادمیم دود سیگار توتون

## مقدمه

آلودگی خاک به کادمیم و ورود آن به بدن انسان، از طریق زنجیره غذایی و استعمال دخانیات سبب مشکلات بسیاری برای سلامتی انسان‌ها گردید. مقادیر بالای کادمیم در بدن انسان سبب بسیاری از بیماری‌ها از جمله فشار خون بالا، تغییر شکل استخوان‌ها و صدمه شدید به کلیه و ریه‌ها شد (Satarug *et al*., 2010 ؛ Thevenod and Lee, 2013). جذب کادمیم دود توتون از طریق تنفس به طور متوسط ۱۰ برابر مقدار جذب کادمیم از طریق بلع غذا و آشامیدن آب آلوده بود (UNEP, 2010 ؛ WHO, 2010). کاربرد کودهای فسفاته، سبب آلودگی زمین‌های کشاورزی به کادمیم شد (UNEP, 2010). کادمیم ممکن است جذب سطحی ذرات رس، مواد آلی و هیدروکسیدهای آهن و منگنز شده و یا به شکل کربنات کادمیم رسوب کند (UNEP, 2010). فرایندهای مختلفی در خاک رفتار کادمیم در فازهای جامد و محلول خاک و جذب آن توسط گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد که از آن جمله می‌توان به جذب، واجذبی،

۱ و ۲- به‌ترتیب دکتری مهندسی علوم خاک و دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: moslehi2012@gmail.com)

DOI: 10.22067/JSW.2022.71557.1071

رسوب، حل شدن، تشکیل کمپلکس و پیوند با کادمیم در خاک اشاره نمود (Christensen and Haung, 1999). در بسیاری از خاک‌های کشاورزی کادمیم بیشتر در فاز جامد حضور دارد و فقط مقدار بسیار اندکی در فاز محلول خاک وجود دارد که به نظر می‌رسد همین مقدار اندک، قابل جذب برای گیاه باشد (Christensen and Haung, 1999). کادمیم موجود در محلول خاک به سرعت جذب گیاهان می‌شود و لذا افزایش غلظت کادمیم محلول خاک سبب افزایش جذب کادمیم توسط گیاهان و ورود این عنصر به زنجیره غذایی شده و می‌تواند خطرات جدی برای سلامتی انسان‌ها به وجود آورد (Wagnr, 1993). شوری سبب تحرک بیشتر کادمیم در رسوبات رودخانه‌ای و خاک می‌شود (Acosta *et al*., 2011؛ Zhao *et al*., 2013). یون کلر ناشی از شوری سبب تشکیل پیوند پایدار با کادمیم شد و این ترکیب کلر با کادمیم توانست از سطوح ذرات خاک واجذب شده و تحرک کادمیم در خاک افزایش یافت (Norvell *et al*., 2000؛ Usman *et al*., 2005). اعمال کود فسفاته سبب افزایش مقدار کادمیم کل و مقدار کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA نسبت به شاهد و تیمارهایی که مقدار کم کود فسفاته دریافت کرده بود، شد (Singh *et al*., 1988؛ Semu and Singh, 1996). کود دهی فسفاته می تواند بر تحرک و مقدار جذب کادمیم توسط گیاه و هم چنین بر توزیع کادمیم در بخش‌های مختلف خاک و مقدار کادمیم خاک تاثیرگذار باشد و بسته به نوع خاک اثرات متفاوتی بر جذب یا واجذب کادمیم در خاک داشت (Wangstrand *et al*., 2007). بررسی تحرک کادمیم و توزیع شکل‌های مختلف کادمیم خاک، غلظت کادمیم دود توتون و درصد استخراج DTPA تحت تاثیر سه عامل کوددهی سوپرفسفات تریپل، آلودگی کادمیم خاک و تنش شوری آب آبیاری از اهداف این آزمایش بود.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک به روش زیگزاگی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از زمین کشاورزی آیش واقع در شهرستان بردسکن (خراسان رضوی) با اقلیم خشک و نیمه خشک و میانگین بارندگی ۱۵۰ میلی‌متر و طول جغرافیایی ۵۷/۸۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵/۴۱ درجه شمالی انجام شد. خاک نمونه‌برداری شده دارای بافت لوم شنی، غیر شور، pH برابر با ۷/۴، دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی ترمیک بود. برای همگن نمودن نمونه‌ها، آنها را کامل با یکدیگر مخلوط و از نمونه مرکب حاصله، پس از عبور از الک دو میلی‌متری جهت خواباندن نمونه‌ها و سپس کاشت استفاده شد. از منبع $Cd(NO_3)_2.4H_2O$ سطوح مربوط به آلودگی کادمیم (۰ و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تهیه شد. قبل از کاشت از طریق مه‌پاشی بر تمام سطح خاک و زیر و رو کردن خاک، سطوح مربوطه آلودگی اضافه شد.

نمونه‌های خاک به ظروف نگهداری پلاستیکی منتقل و به مدت چهار ماه در فضای کنترل شده گلخانه در دامنه دمایی ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک با استفاده از روش توزین، خوابانیده شد. کشت تحت شرایط کنترل شده در محیط گلخانه واقع در شهرستان بردسکن انجام شد. بدین نحو که گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۸ و اندازه دهانه ۶۵ ×۲۵ سانتی‌متر با نمونه‌های ۱۰ کیلوگرمی که قبلا خوابانیده شده بودند، پر شد. قبل از کاشت، به منظور تامین عناصر نیتروژن مقدار ۲/۲۸ گرم کود سولفات آمونیوم ($(NH_4)_2SO_4$) بر هر کیلوگرم خاک گلدان و برای تامین پتاسیم مقدار دو گرم بر هر کیلوگرم خاک گلدان از منبع نیترات پتاسیم ($KNO_3$)که فاقد آلودگی عنصر کادمیم و فسفر بودند، بر اساس مقدار نیاز گیاه به عناصر ذکر شده به گلدان‌ها اعمال شد. کود سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت، به مقدار ۱/۵ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک گلدان فقط به تیمارهای مورد نظر اعمال شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورها شامل شوری آب آبیاری در سه سطح صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار NaCl، کود سوپر فسفات تریپل در دو سطح صفر و ۱/۵ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک گلدان و کادمیم اضافه شده به خاک در دو سطح صفر و۱۲ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک بود. این آزمایش به صورت گلدانی و در محیط گلخانه به تعداد ۴۸ عدد گلدان (۳ سطح شوری × ۲ سطح آلودگی کادمیم × ۲ سطح کود سوپر فسفات تریپل × ۴ تکرار) انجام شد. تمامی مواد شیمیایی استفاده شده در این آزمایش از جمله نمک کلرید سدیم، کاملا خالص و از شرکت مرک آلمان بود.

تعداد دو گیاهچه ۶۰ روزه توتون (*Nicotiana tabacum* L.) رقم کوکر ۳۴۷ که قبلا در خزانه خاکی فاقد آلودگی کادمیم بذرپاشی شده و با آب غیر شور رشد کرده بودند، به هر گلدان منتقل و کشت انجام گرفت. رقم استفاده شده در این آزمایش، رقم توتون گرمخانه‌ای بود که رقم مورد استفاده در صنعت تولید سیگار می باشد. بلافاصله پس از انتقال گیاهچه‌ها به گلدان‌ها آبیاری با توجه به تیمار مد نظر، با آب فاقد شوری (آب مقطر)، شوری ۲۰ یا ۴۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم به مدت ۷۵ روز انجام شد. تا هفته چهارم مقدار ۴۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان در هر دور آبیاری، و پس از هفته چهارم تا پایان آزمایش مقدار ۸۰۰ میلی‌لیتر به ازای هر گلدان در هر دور آبیاری، آبیاری انجام گرفت (Janouskova *et al*., 2007). دور آبیاری چهار روز یکبار بود و در هر دور آبیاری، مقدار آب اضافه شده به هر گلدان در هر سطوح شوری یکسان بود. شوری مد نظر همان روز آبیاری از منبع نمک کلرید سدیم تهیه و سپس آبیاری به صورت دستی انجام شد. زیر گلدانی به منظور جمع‌آوری زه آب خروجی از گلدان‌ها و برگرداندن این زه آب‌ها به گلدان‌ها استفاده شد. پس از مدت مذکور گیاهان از محل طوقه قطع و ریشه‌ها با روش الک موبین در آب، از خاک خارج شدند.

### اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، گیاه و کود فسفاتی

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه مرکب خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، واکنش خاک در گل اشباع به وسیله الکترود شیشه‌ای (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع خاک بوسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Sumner and Miller, 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک (Nelson, 1982)، فسفر قابل استفاده خاک به روش اولسن (Olsen *et al*., 1954)، کربن آلی به روش سوختن با دستگاه CHNS (Sato *et al*., 2014)، غلظت کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در پایان آزمایش به روش لیندسی (Lindsay and Norvell, 1987) و غلظت کادمیم در عصاره‌های به دست آمده توسط دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA-670 مجهز به کوره گرافیتی تعیین شد. جهت تعیین فسفات و کادمیم کل در کود سوپر فسفات تریپل پس از کوبیدن کود در هاون چینی، هضم اسیدی انجام و در عصاره به دست آمده کادمیم کل (Hu *et al*., 1998) و فسفات کل (Application Bulletin 314) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

پس از اتمام برداشت بخش هوایی و ریشه گیاهان، بخش‌های مربوطه با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو داده شد. بخش‌های هوایی و ریشه به صورت جداگانه در آون با دمای ۶۵ درجه تا رسیدن به وزن ثابت، خشک گردید و جهت آماده‌سازی برای هضم اسیدی، نمونه‌ها آسیاب شد. به منظور تهیه عصاره برای اندازه‌گیری کادمیم در بخش‌های ریشه، بخش هوایی و خاکستر گیاه از روش هضم مخلوط نیتریک اسید و پرکلریک اسید به نسبت حجمی ۳ به ۱ استفاده شد (Liu *et al*., 2015). خاکستر توتون، از سوختن کامل بخش هوایی توتون در فضای باز (به منظور جلوگیری از بازجذب کادمیم دود توتون توسط خاکستر) تهیه شد. غلظت کادمیم دود توتون از تفاوت غلظت کادمیم خاکستر توتون از غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه حاصل شد (Pinto *et al*., 2017).

درصد استخراج DTPA، از معادله یک به دست آمد. (Wong *et al*., 1998).

$$E(\%) = \frac{CD}{CT} \times 100 \qquad \text{(۱) معادله}$$

که در آن CD غلظت کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA و CT غلظت کادمیم کل می‌باشد.

درصد توزیع کادمیم در بخش‌های مختلف خاک (کادمیم محلول+تبادلی، کربناتی، اکسیدهای آهن بی شکل، اکسیدهای منگنز، باقی‌مانده، آلی) از معادله دو به دست آمد (Lei *et al*., 2008).

$$D(\%) = \frac{CF}{CS} \times 100 \qquad \text{(۲) معادله}$$

که در آن CF غلظت هر یک از شکل‌های فلز سنگین برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و CS مجموع غلظت شکل‌های فلز سنگین در خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

به منظور اندازه گیری فاکتور تحرک[1] کادمیم در خاک از معادله ۳ استفاده شد که در این معادله، MF فاکتور تحرک و F1، F2، F3، F4، F5 و F6 به ترتیب شکل‌های محلول+ تبادلی، کربناتی، آلی، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن و باقی مانده در خاک می‌باشد (Salbu *et al*., 1998). فاکتور تحرک کادمیم در خاک فاکتوری جهت برآورد میزان تحرک کادمیم در خاک است و هر چه قدر این فاکتور بزرگتر باشد، نشان از تحرک و خطر بیشتر کادمیم در خاک برای محیط زیست و گیاهان دارد.

$$MF = \frac{F1+F2}{F1+F2+F3+F4+F5+F6} \times 100 \qquad \text{(۳) معادله}$$

غلظت کادمیم در بخش‌های مختلف خاک به روش عصاره‌گیری دنباله‌ای انجام شد (Singh *et al*., 1988).

خاک مورد استفاده جهت آزمایش طبق جدول ۱ دارای بافت لوم شنی، با کربنات کلسیم معادل ۱۷/۵ درصد بود. کود سوپر فسفات تریپل مورد آزمایش با فرمول شیمیایی $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ شامل ۴۴ درصد فسفات و کادمیم کل آن به روش هضم اسیدی ۰/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۲).

### آنالیز آماری

داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ آنالیز شد و نمودارها توسط برنامه Excel رسم شد. از آزمون توکی جهت مقایسه میانگین تیمارها در سطح پنج درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

### اثر تیمارها بر غلظت کادمیم دود توتون

با افزایش شوری‌آب آبیاری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، غلظت کادمیم دود توتون‌های رشد کرده در خاک آلوده به کادمیم، به طور میانگین و به‌ترتیب ۶۵ و ۸۳/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

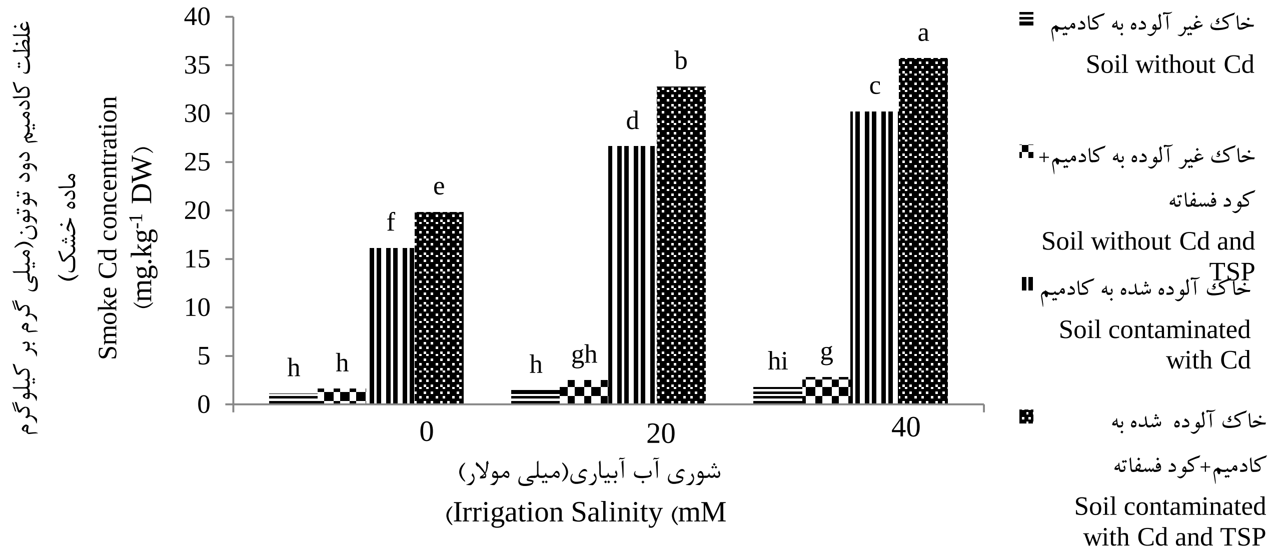
1- Mobility factor

**جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه**
**Table 1- Some physical and chemical properties of studied soil**

| بافت خاک Soil texture | رس Clay (%) | سیلت Silt (%) | شن Sand (%) | pH | EC (dS.m$^{-1}$) | فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg$^{-1}$) | کربن آلی Organic carbon (%) | کادمیم کل Total Cd (mg.kg$^{-1}$) | ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol$^{+}$.kg$^{-1}$) | کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم شنی Sandy loam | 18 | 10 | 72 | 7.4 | 2.3 | 3.9 | 0.35 | 0.95 | 8.1 | 17.5 |

**جدول ۲- ویژگی‌های کود سوپر فسفات تریپل مورد مطالعه**
**Table 2- Properties of studied Triple Super phosphate fertilizer**

| کادمیم کل( میلی گرم بر کیلوگرم) Total Cd (mg.kg$^{-1}$) | اسیدیته pH | فسفات کل (درصد) Total phosphate (%) |
|---|---|---|
| 0.12 | 2.3 | 44 |




**شکل ۱- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم دود توتون**

(حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی معنی‌دار نیست).

**Figure 1- Effect of treatments on tobacco smoke Cd concentration**

(The same letters are not significantly different at P = 0.05 (n = 4) according to the Tukey test)

با افزایش کود سوپر فسفات تریپل در خاک‌های آلوده شده به کادمیم، غلظت کادمیم دود توتون در شاهد و دو سطح شوری ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار آب آبیاری، افزایش معنی‌داری نشان داد که بیشترین درصد افزایش در شوری ۲۰ میلی‌مولار با مقدار ۲۳/۳ درصد مشاهده گردید (شکل ۱). بیشترین غلظت کادمیم دود توتون در خاک‌های آلوده به کادمیم، در شوری ۴۰ میلی‌مولار آب آبیاری مشاهده گردید.

اثر ترکیبی[1] دو عامل کود فسفاته و شوری بیشتر از اثر جداگانه هر کدام از عوامل بر غلظت کادمیم دود توتون بود.

پینتو و همکاران (Pinto et al., 2017) گزارش نمودند که در اثر سوختن توتون عناصر بسیاری از توتون به بخش گازی منتقل شد که بیشترین آنها تالیوم با درصد انتقال ۸۵-۹۲ و بعد از آن کادمیم با ۸۱-۹۰ درصد بود. افراد سیگاری به ازای هر یک نخ سیگار در معرض جذب ۱/۷ میکروگرم کادمیم قرار می‌گیرند. در افراد غیر سیگاری جذب کادمیم عمدتا از طریق زنجیره غذایی و به طور میانگین در یک محیط غیر آلوده به کادمیم، مقدار ۱۰ تا ۲۵ میکروگرم بر هر روز می‌باشد (Roberts, 2014). کاربرد کود سوپرفسفات تریپل در خاک آلوده به کادمیم و در شوری صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار به ترتیب سبب افزایش غلظت کادمیم خاکستر توتون به مقدار ۱/۴۷، ۱۵/۸۹ و ۲۹/۸۰ درصد (جدول ۳) و غلظت کادمیم دود توتون به میزان ۲۳/۲، ۲۳/۳ و ۱۸ درصد (شکل ۱) گردید. بیشترین افزایش غلظت کادمیم خاکستر توتون در نتیجه اعمال کود، در شوری ۴۰ میلی‌مولار در خاک آلوده شده به کادمیم و با غلظت ۱۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۳). از دلایل آن را می‌توان به افزایش جذب کادمیم در نتیجه افزایش رشد گیاه در اثر کاربرد کود سوپرفسفات تریپل اشاره نمود.

### اثر تیمارها بر درصد استخراج DTPA

درصد استخراج DTPA شاخصی مناسب جهت برآورد توانایی عصاره گیرDTPA برای استخراج کادمیم از خاک می‌باشد که بیانگر این است که از ۱۰۰ درصد غلظت کامیم خاک، چند درصد توسط عصاره‌گیر DTPA از خاک استخراج می‌شود. با افزایش شوری، درصد استخراج کادمیم توسط DTPA در پایان آزمایش روند افزایشی و با کاربرد کود فسفاته در خاک، درصد استخراج روند کاهشی نشان داد. در خاک آلوده شده به کادمیم و حاوی کود فسفاته، با افزایش شوری از صفر به ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار درصد استخراج DTPA به ترتیب ۱۹/۱۷ و ۵۷/۷۰ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۳). برهمکنش دو عامل شوری و سطوح آلودگی کادمیم بر درصد استخراج DTPA، یک اثر فزاینده بود به نحوی که بر همکنش آنها از اثر هر یک از عوامل به تنهایی بیشتر بود. با افزایش سطح آلودگی کادمیم در خاک حاوی کود فسفاته در شوری ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، مقدار افزایش درصد استخراج DTPA نسبت به خاک غیر آلوده شده به کادمیم و حاوی کود فسفاته، به ترتیب ۳۷ و ۶۰/۱۷ درصد افزایش نشان داد. مقدار کاهش درصد استخراج DTPA در اثر اعمال کود فسفاته، در خاک‌های غیر آلوده شده به کادمیم بیشتر از خاک آلوده شده به کادمیم بود. با افزایش سطح آلودگی خاک، درصد استخراج کادمیم توسط DTPA در هر دو خاک حاوی کود فسفاته و فاقد کود فسفاته افزایش نشان داد. بیشترین درصد استخراج DTPA در خاک آلوده شده به کادمیم و در شوری ۴۰ میلی‌مولار و در خاک فاقد کود فسفاته با مقدار ۹/۶۱ و کمترین مقدار درصد استخراج DTPA در شوری صفر میلی‌مولار و در خاک غیر آلوده شده به کادمیم و حاوی کود فسفاته با مقدار ۳/۹۸ مشاهده شد (جدول ۳). سشادری و همکاران (Seshadri *et al*., 2017) بیان داشتند که کودهای حاوی فسفر توانستند کادمیم را به مقدار ۱/۵۶تا ۷۶/۲ درصد غیر متحرک[2]کند و غلظت کادمیم در زه آب خروجی از خاک به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. آنها بیان داشتند که این کاهش کادمیم در بخش‌های ذکر شده، به علت افزایش تشکیل ترکیبات پایدارتر کادمیم در بخش‌های اکسیدهای آهن و منگنز بود. گیو و همکاران (Guo *et al*., 2017)نشان دادند که کاربرد کودهای فسفاته همراه با سایر کودها، سبب کاهش کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک شد. شوری حاصل از NaCl از طریق تشکیل ترکیب‌های کادمیم-کلر و تبادل سدیم با کادمیم در مکان‌های جذب سطحی ذرات جامد خاک، حلالیت و قابلیت جذب کادمیم برای گیاه چغندر (*Beta vulgaris* Cicla) را افزایش داد (Bingham *et al*., 1984).

### اثر تیمارها بر فاکتور تحرک کادمیم در خاک

فاکتور تحرک کادمیم در خاک آلوده شده به کادمیم نسبت به خاک غیر آلوده در شوری صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار به طور میانگین و به ترتیب ۲۵/۶، ۳۲/۴ و ۳۶/۲ درصد افزایش نشان داد که این افزایش در سطح ۵ درصد آماری آزمون توکی معنی‌دار بود. از دلایل اصلی این موضوع درصد توزیع بالای غلظت کادمیم در بخش محلول+تبادلی و کربناتی خاک آلوده به کادمیم نسبت به خاک غیر آلوده بود و با افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، فاکتور تحرک افزایش معنی‌داری نشان داد.

کاربردکود فسفاته، سبب کاهش معنی دار فاکتور تحرک کادمیم در خاک‌های غیر آلوده به کادمیم شد. از دلایل احتمالی آن می‌توان به کاهش توزیع غلظت کادمیم در بخش‌های محلول+تبادلی و کربناتی در خاک غیر آلوده به کادمیم و افزایش غلظت کادمیم بخش باقی مانده خاک نام برد. سطوح شوری آب آبیاری اثر معنی‌داری بر کاهش فاکتور تحرک کادمیم نداشت و حال آنکه با افزایش شوری غلظت کادمیم محلول+تبادلی در خاک افزایش نشان داد. یکی از دلایل این موضوع این است که با افزایش شوری از کادمیم بخش کربناتی کاسته شده و به کادمیم بخش محلول+تبادلی اضافه شده است و مجموع این دو بخش در اثر اعمال شوری‌های مختلف آب آبیاری، یکسان بوده است و لذا با افزایش سطوح شوری، فاکتور تحرک کادمیم در خاک تفاوت معنی‌داری حاصل نکرد.

1- Combined effect

2- Immobilize

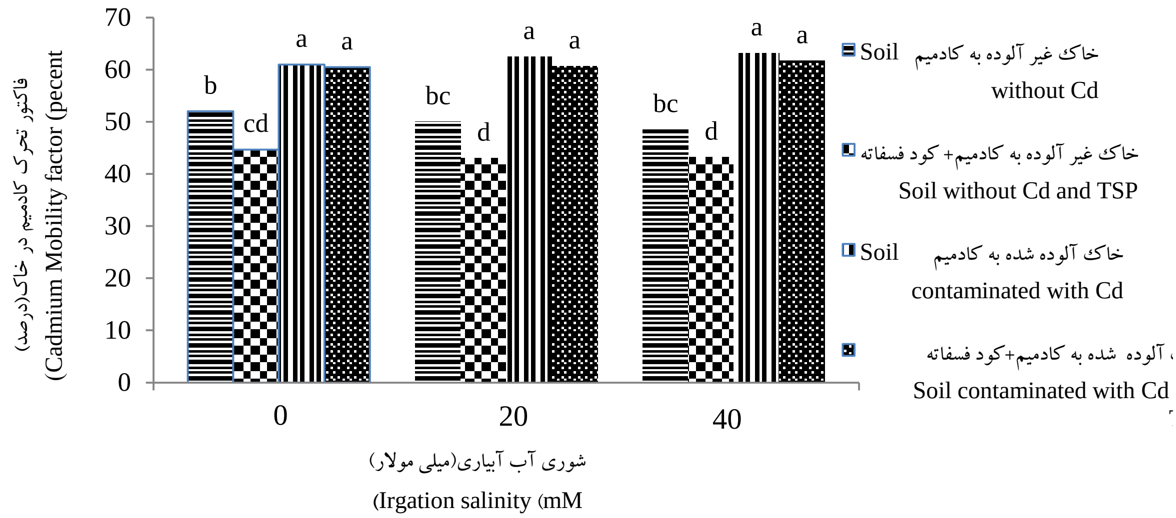
جدول ۳- اثر شوری آب آبیاری، کود سوپر فسفات تریپل و آلودگی کادمیم خاک بر غلظت کادمیم بخش هوایی، غلظت کادمیم خاکستر توتون، غلظت کادمیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با DTPA ، درصد استخراج کادمیم توسط DTPA و درصد انتقال کادمیم

Table 3- Effect of irrigation water salinity, TSP and soil Cd contamination on shoot Cd concentration, Tobacco ash Cd concentration, DTPA available Cd in soil, DTPA extractable Cd and Cd transfer percentage

| ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری Measured criteria | شوری صفر میلی‌مولار Salinity 0 Mm | | | | شوری ۲۰ میلی‌مولار Salinity 20 mM | | | | شوری ٤۰ میلی‌مولار Salinity 40 mM | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | خاک بدون کادمیم Soil without Cd | | خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd | | خاک بدون کادمیم Soil without Cd | | خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd | | خاک بدون کادمیم Soil without Cd | | خاک آلوده به کادمیم Soil contaminated with Cd | |
| | فاقد کود Without TSP | حاوی کود With TSP | فاقد کود Without TSP | حاوی کود With TSP | فاقد کود Without TSP | حاوی کود With TSP | فاقد کود Without TSP | حاوی کود With TSP | فاقد کود Without TSP | حاوی کود With TSP | فاقد کود Without TSP | حاوی کود With TSP |
| غلظت کادمیم بخش هوایی Shoot Cd concentration ($mg.kg^{-1}$) | 1.30 h | 1.92 gh | 19.50 e | 23.29 d | 1.72 gh | 2.98 fg | 32.20 c | 39.29 b | 2.40 g | 3.47 f | 38.55 b | 46.51 a |
| غلظت کادمیم قابل جذب خاک عصاره گیری شده با DTPA DTPA available Cd in soil ($mg.kg^{-1}$) | 0.04 g | 0.04 g | 0.80 d | 0.76 d | 0.06 g | 0.05 g | 1.07 b | 0.91 c | 0.07 g | 0.06 g | 1.24 a | 1.21 a |
| غلظت کادمیم خاکستر توتون Tobacco ash Cd concentration ($mg.kg^{-1}$) | 0.19 f | 0.31 f | 3.38 e | 3.43 e | 0.26 f | 0.45 f | 5.60 d | 6.49 c | 0.59 f | 0.64 f | 8.32 b | 10.80 a |
| درصد استخراج کادمیم توسط DTPA DTPA extractable Cd in soil(%) | 4.99 fg | 3.98g | 6.19ef | 5.84ef | 7.1c | 5.08fg | 8.26bc | 6.96cde | 7.63cd | 5.75ef | 9.61a | 9.21ab |
| درصد انتقال کادمیم Cd transfer percentage(%) | 85.17 a | 83.64 ab | 82.61 ab | 85.28 a | 84.6 a | 84.75 a | 82.59 ab | 83.48 ab | 74.86 e | 81.46 bc | 78.42 cd | 76.8 de |

حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی معنی‌دار نیست. هر عدد میانگین ۴ تکرار می‌باشد. TSP=کود سوپر فسفات تریپل

The same letters are not significantly different at P = 0.05 (n = 4) according to the Tukey test. TSP= Triple Super Phosphate fertilizer




**شکل ۲- اثر تیمارها بر فاکتور تحرک کادمیم در خاک**

حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون توکی معنی‌دار نیست.

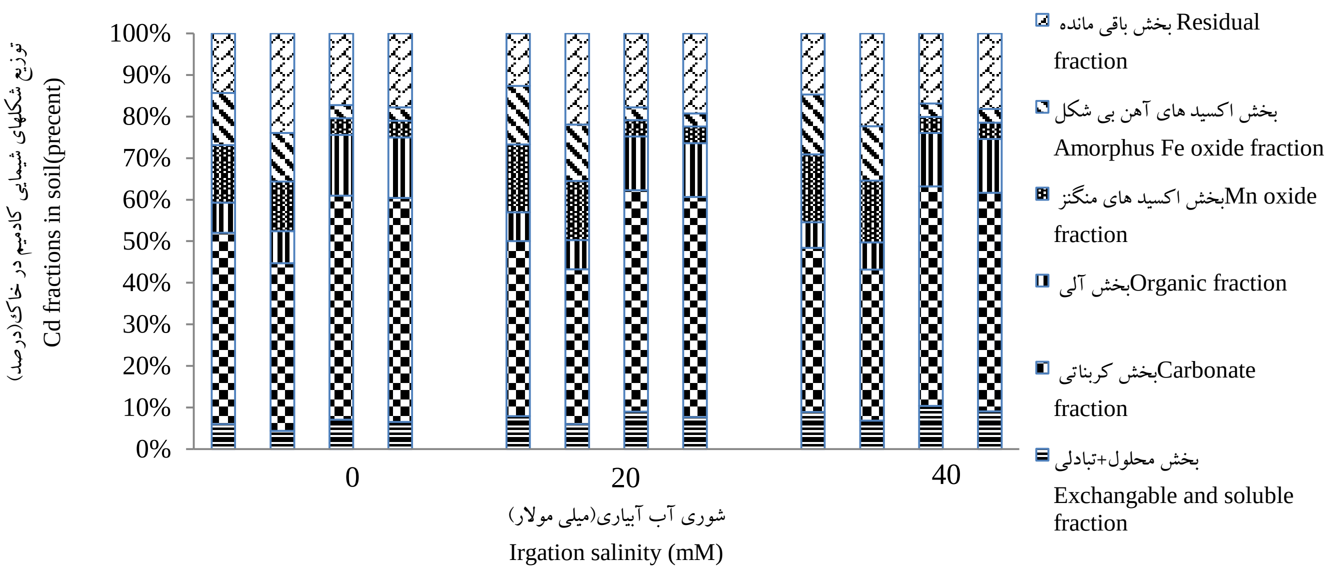
**Figure 2- Effect of treatments on Cd mobility factor**

(The same letters are not significantly different at P = 0.05 (n = 4) according to the Tukey test)

میزان کاهش فاکتور تحرک کادمیم در خاک‌های غیر آلوده شـده به کادمیم در اثر اعمال کود فسـفاته، به طور میانگین ۱۵/۳۸ درصد و در خاک‌های آلوده شـده به کادمیم ۲/۷۶ درصد بود. تاثیر کود فسفاته در غلظت‌های کم کادمیم خاک اثر بیشـتری بر کاهش فاکتور تحرک کادمیم داشت چون همان غلظت اندک کادمیم محلول خاک در نتیجه اعمال کود فسـفاته کاهش یافت ولی در خاک آلوده به کادمیم غلظت کادمیم در بخش کربناتی بیشترین مقدار بود (شکل ۳) و با کاربرد کود فسفاته، تاثیر چندانی بر فاکتور تحرک نداشت (شکل ۲).

### درصد توزیع شکل‌های شیمیایی کادمیم خاک

با افزایش شـوری و سـطح آلودگی خاک، درصد توزیع شکل‌های شـیمیـایی کـادمیم خـاک در پـایان آزمایش و تحت تاثیر تیمارهای مختلف تغییر نمود. در خاک‌های آلوده شـده به کادمیم درصـد توزیع کمتری از کادمیم در بخش‌های اکسـید آهن بی شکل و منگنز نسبت به خاک غیر آلوده شـده به کادمیم قرار داشت و بیشترین درصد توزیع کادمیم اضـافه شـده به خاک در بخش کربناتی بود ( شکل ۳). رنلا و همکاران (Renella *et al*., 2004) بیان داشـتند که علت اصلی عدم تحرک کـادمیم در خاک‌های آهکی، کاهش تحرک کادمیم در بخش کربناتی خاک بود. هر دو عامل شوری و سطوح کادمیم سبب افزایش کادمیم محلول+تبادلی گردید (شـکل ۳). با افزایش شوری آب آبیاری و افزایش سـطوح آلودگی خـاک، درصـد غلظـت کادمیم در بخش محلول+تبادلی نسبت به شاهد صفر شوری افزایش نشان داد. در خاک آلوده شـده به کادمیم مقدار بیشـتری از کادمیم در نتیجه اعمال کود فسـفاته در بخش باقی مانده رسوب نموده است ولی درصد آن نسبت به کل کمتر از خاک غیر آلوده شده به کادمیم بود (شکل ۳). نتایج هم چنین نشـان داد افزایش سـطوح کادمیم خاک سـبب افزایش درصـد کادمیم بخش کربناتی خاک شد و این بدین مفهوم است که با افزایش غلظت کادمیم در خاک سـهم بیشـتری از درصد کل کادمیم خاک به بخش کربناتی منتقل شده است (شکل ۳). در هر دو خاک آلوده و غیر آلوده با افزایش کود سـوپر فسـفات تریپل به خاک، درصـد غلظت کادمیم بخش محلول+تبادلی و کربناتی کاهش نشـان داد و در عوض درصد کادمیم بخش باقی مانده افزایش نشان داد (شکل ۳). با افزایش آلودگی کادمیم در خاک، درصـد بخش کربناتی و باقی مانده افزایش می‌یابد و این بیشـتر به خاطر رسوب کادمیم در این بخش‌ها به شکل های غیر فعال در خاک می باشد. واترلوت و همکاران ( Waterlot *et al*., 2017) بیان داشـتند که با افزایش کود فسـفات آمونیوم، غلظت کادمیم در بخش باقی مانده و کربناتی خاک افزایش یافت در حالی که غلـظت کادمیم قابل تبادل و بخش محلول، کاهش یافت. با افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، درصد کادمیم بخش کربناتی و ماده آلی خاک نسبت به خاک غیر آلوده به کادمیم افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). از دلایل این موضوع می‌توان به افزایش رسوب کادمیم در بخش کربناتی و تثبیت کادمیم در سطوح فعال مواد آلی اشاره نمود.




**شکل ۳- اثر تیمارها بر درصد توزیع شکل‌های مختلف کادمیم در خاک. در هر سطح شوری آب آبیاری به ترتیب از چپ به راست ستون‌ها عبارتند از خاک غیر آلوده به کادمیم، خاک غیر آلوده به کادمیم+ کود فسفاته، خاک آلوده شده به کادمیم، و خاک آلوده شده به کادمیم+ کود فسفاته**

**Figure 3- Effect of treatments on Cd fractions in soil. at each irrigation salinity level, from left to right columns are non Cd contaminated soil, non Cd contaminated soil + phosphate fertilizer, Cd contaminated soil and Cd contaminated soil+ phosphate fertilizer**

## نتیجه‌گیری

بر همکنش دو عامل کود فسفاته و سطوح آلودگی کادمیم خاک بر افزایش کادمیم دود توتون از اثر هر کدام از عوامل کود فسفاته و سطوح آلودگی کادمیم بیشتر بود و لذا کوددهی فسفاته در خاک های آلوده به سطوح بالای کادمیم بایستی انجام نگیرد یا به حداقل ممکن برسد. با افزایش سطوح آلودگی کادمیم خاک، درصد غلظت کادمیم بخش‌های اکسیدی خاک کاهش و درصد غلظت کادمیم بخش کربناتی، آلی و باقی مانده افزایش نشان داد. کاربرد کود فسفاته سبب افزایش غلظت کادمیم باقی مانده خاک شد. عامل شوری و کود فسفاته روند معکوسی بر کادمیم بخش محلول+تبادلی و کادمیم فراهم با DTPA خاک داشتند به طوری‌که با افزایش شوری، این غلظت‌ها افزایش و با افزایش کود سوپر فسفات تریپل، کاهش نشان داد. با افزایش کود فسفاته به خاک، مقدار کاهش فاکتور تحرک کادمیم در خاک غیر آلوده به کادمیم بیشتر از خاک آلوده شده به کادمیم بود. برهمکنش دو عامل شوری و سطوح آلودگی کادمیم بر درصد استخراج DTPA، یک اثر فزاینده داشت به نحوی که بر همکنش آنها از اثر هر یک از عوامل به تنهایی بیشتر بود.

## منابع

1. Acosta J.A., Jansen B., Kalbitz K., Faz A., and Martínez-Martínez S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemosphere 85: 1318–1324. http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.07.046.
2. Application Bulletin 314 e. Determination of total phosphate in phosphoric acid and phosphate fertilizers with 859 Titrotherm. Page1-4. Metrohem.
3. Bingham F.T., Sposito G., and Strong J.E. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. Journal Environment Qual. 13: 71-74. https://doi.org/10.2134/jeq1984.00472425001300010013x.
4. Christensen T.H., and Haung P.M. 1999. Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces. In “Cadmium in Soils and Plants” (M. J. McLaughlin and B. R. Singh, Eds.), pp. 65–96. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
5. Gee G. W., and Bauder J. W. 1986. Particle size analysis, hydrometer method. P.404-408. In A. Klute et al.(eds) Methods of soil analysis, part1. 3rd Ed. Am. Soc. Agron. Madison. WI.
6. Guo J., Leia M., Yanga J., Yanga J., Wana X., Chena T., Zhoua X., Gua S., and Guo G. 2017. Effect of fertilizers on the Cd uptake of two sedum species (*Sedum spectabile* Boreau and *Sedum aizoon* L.) as potential Cd accumulators. Ecological Engineering 106: 409–414. Analytica Chimica Acta https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.069.

7. Hu Y., Vanhaecke F., Moens L., Dams R., del Castilho P., and Japenga J. 1998. Determination of the aqua regia soluble content of rare earth elements in fertilizer, animal fodder phosphate and manure samples using inductively coupled plasma mass spectrometry. Analytica Chimica Acta 373: 95-105. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(98)00399-7.
8. Janouskova M., Vosatka M., Rossi L., and Lugon-Moulin N. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on cadmium accumulation by different tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) types. Applied Soil Ecology 35: 502–510. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.10.002.
9. Lei M., Liao B., Zeng Q., Qin P., and Khan S. 2008. Fraction distributions of lead, cadmium, copper and zinc in metal contaminated soil before and after extraction with disodium ethylenediaminetetraacetic acid. Commun. Soil Science Plant Analytica 39: 1963-1978. https://doi.org/10.1080/00103620802134776.
10. Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1987. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Social American Journal 42: 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.
11. Liu Z., Ge H., Li C., Zhao Z., Song F., and Hu S. 2015. Enhanced Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soil by Plant Co-Cropping Associated with PGPR. Water Air and Soil Pollution 226:29. https://doi.org/10.1007/s11270-015-2304-y.
12. Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page AL(ed) Method of soil analysis. Part2, 2nd ed. Agron Monogr.9. ASA and SSSA, Madison: 181-197.
13. Norvell W.A., Wu J., Hopkins D.G., and Welch R.M. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. Soil Science Social American Journal 64: 2162–2168. https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462162x.
14. Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ.939. U.S. Gov. Print office, Washington D.C.
15. Pinto E., Cruz M., Ramos P., Santos A., and Almeida A. 2017. Metals transfer from tobacco to cigarette smoke: Evidences insmokers' lung tissue. Journal of Hazardous Materials 325: 31–35. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.069.
16. Renella G., Adamo P., Bianco M.R., Landi L., Violante P., and Nannipieri P. 2004. Availability and speciation of cadmium added to a calcareous soil under various managements. European Journal of Soil Science 55: 123–133. https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00586.x.
17. Rhoades J. D. 1996. Sailinity: Electerical conductivity and total dissolved soilds. P.417-436. in D. L. Sparks et al. (ed.) Method of soil analysis. PartIII. 3rd Ed. Am. Soc. Agron., Medison. WI.
18. Roberts T.L. 2014. Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. Procedia Engineering 83: 52–59. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012.
19. Salbu B., Krekling T., and Oughton D.H. 1998. Characterization of radioactive particles in the environment. Analystic 123: 843-849.
20. Satarug S., Garrett S.H., Sens M.A., and Sens D.A. 2010.Cadmium, environ-mental exposure and health outcomes. Environ. Health Perspect 118: 182–190. https://doi.org/10.1289/ehp.0901234.
21. Sato J.H., Célio de Figueiredo C., Marchão R.L., Madari B.E., Benedito L.E.C., Busato J.G., and Mendes de Souza D. 2014. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. Science Agriculture 71(4)302-308. http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0306.
22. Semu E., and Singh B.R. 1996. Accumulation of heavy metals in soils and plants after long-term use of fertilizers and fungicides in Tanzania. Fertilizer Research 44: 241–248.
23. Seshadri B., Bolan N.S., Choppala G., Kunhikrishnan A., Sanderson P., Wang H., Currie L.D., Tsang D. C.W., Ok Y.S., and Kim G. 2017. Potential value of phosphate compounds in enhancing immobilization and reducing bioavailability of mixed heavy metal contaminants in shooting range soil. Chemosphere 184:197-206. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.172.
24. Singh J.P., Karwasra S.P.S., and Singh M. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. Soil Science 146(5):359-366. https://doi.org/10.1097/00010694-198811000-00008.
25. Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients. P.1201-1229. In D. Ed. Am. Soc. Agronomy, Medison, WI. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c40.
26. Suwa R., Nguyen N.T., Saneoka H., Moghaib R., and Fujita K. 2006. Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. Soil Science and Plant Nutrition 52: 243–250. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00024.x.
27. Thévenod F., and Lee W.K. 2013.Toxicology of cadmium and its damage to mammalian organs. Metabolism Ions Life Science 11: 415–490. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5179-8_14.
28. Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil activity. P. 475-490. In D.L. Sparks et al. (ed.) Method of soil analysis. PartIII. 3rd Ed. Am. Soc. Agronomy Medison WI.
29. United Nations Environment Program(UNEP) Chemicals Branch, DTIE. 2010. Final review of scientific information on cadmium –Version of December 2010.
30. Usman A.R.A., Kuzyakov Y., and Stahr K. 2005. Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals

availability to wheat grown on sewage sludge contaminated soil. Soil Sediment Contam 14: 329–344. https://doi.org/10.1080/15320380590954051.
31. Wagner G.J. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. Advance Agronomy 51: 173–212. http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60593-3.
32. Wangstrand H., Erikson J., and Oborn I. 2007. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. European Journal of Agronomy 26: 209-214. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.09.010.
33. Waterlot C., Pruvot C., Marot F., and Douay F. 2017. Impact of a Phosphate Amendment on the Environmental Availability and Phytoavailability of Cd and Pb in Moderately and Highly Carbonated Kitchen Garden Soils. Pedosphere 27(3): 588–605. https://doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60354-0.
34. Wong M.H., Wong J.W.C., and Baker A.J.M. 1998. Remediation and Management of Degraded Lands. CRC Press, Florida, USA. https://doi.org/10.1201/9780203740897.
35. World Health Organization (WHO). 2010. Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern. World Health Organization http://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf.
36. Zhao S., Feng C., Wang D., Liu Y., and Shen Z. 2013. Salinity increases the mobility of Cd, Cu, Mn, and Pb in the sediments of Yangtze Estuary: Relative role of sediments' properties and metal speciation. Chemosphere 91: 977–984. http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.001.